第 37 卷第 4 期　　　　生　态　学　报　　　　Vol.37,No.4
2017 年 2 月　　　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　　　Feb.,2017

DOI: 10.5846/stxb201604120669
毛碧琦,敖长林,焦扬,高琴,刘玉星.基于选择实验的三江平原湿地生态系统服务功能价值评价及偏好异质性研究.生态学报,2017,37(4):1297-1308.
Mao B Q, Ao C L, Jiao Y, Gao Q, Liu Y X.Evaluation of preference heterogeneity of ecosystem services in the Sanjiang Plain Wetlands based on choice experiments.Acta Ecologica Sinica,2017,37(4):1297-1308.

基于选择实验的三江平原湿地生态系统服务功能价值评价及偏好异质性研究

毛碧琦,敖长林*,焦　扬,高　琴,刘玉星
东北农业大学 管理科学与工程系, 哈尔滨　150030

摘要:维持与保护生态系统服务功能是实现可持续发展的基础,定量评价湿地生态系统服务功能的经济价值已成为当前生态学领域研究的前沿课题。以三江平原湿地为研究对象,应用选择实验法,选取湿地面积、生物多样性、水源涵养和自然景观等 4 项湿地属性,运用随机参数 Logit 模型(RPL)对其进行货币化评价,并结合潜在分类模型(LCM)证实并解释公众对湿地生态系统服务功能的偏好异质性。研究结果显示:湿地生态系统服务功能的价值依次为水源涵养>湿地面积>生物多样性>自然景观。对于维持当前各项湿地生态系统服务功能的总价值为 14.61 亿元/a,改善价值为 98.58 亿元/a。此外,研究发现受访者可分为资源偏好型、景观偏好型和价格敏感型等 3 个潜在类别,不同类型的群体对湿地生态系统服务功能存在不同偏好;女性和更高学历的受访者更偏好于资源保护,高收入和到景区旅游次数多的受访者更偏好于景观保护,而教育和收入水平越低的受访者更倾向于选择价格较低的湿地管理方案。研究有助于湿地可持续管理政策的优化设计,为相关环境政策的制定提供理论依据。
关键词:三江平原湿地;生态系统服务功能;偏好异质性;选择实验法;随机参数 Logit 模型;潜在分类模型

Evaluation of preference heterogeneity of ecosystem services in the Sanjiang Plain Wetlands based on choice experiments

MAO Biqi, AO Changlin*, JIAO Yang, GAO Qin, LIU Yuxing
Department of Management Science and Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, *China*

Abstract: Maintenance and protection of ecosystem services are the basis for achieving sustainable development. Quantitative assessment of the economic value of wetland ecosystem services has become one of leading topics in the field of ecology. Choice experiments (CE) comprise an important non-market resource value evaluation technique, which are carried out by eliciting responses from individuals in hypothetical markets. CEs also enable researchers to measure a respondent's Willingness to Accept (WTA) compensation or Willingness to Pay (WTP) a premium for different characteristics of one product, and to analyze the relative value of a combination of different attributes from various alternatives by using econometric models. As CEs are most likely to reveal respondents' preferences for goods or services, such experiments have become a widespread means of ecological valuation. The purpose of this paper is to assist policy makers in formulating efficient and sustainable wetland management policies by providing the results of a valuation study on the Sanjiang Plain Wetlands. A CE was employed to estimate the values that changes to ecosystem service functions of the Sanjiang Plain Wetlands could provide to the public. We estimated partial values for wetland conservation, with a focus on wetland size, biodiversity, water conservation, and natural landscapes, among a myriad of wetland ecosystem services. A

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71171044)
收稿日期:2016-04-12;　　**修订日期**:2016-07-25
*通讯作者 Corresponding author.E-mail: aochanglin2002@126.com

random parameter logit (RPL) model was employed to evaluate the ecosystem services in monetary units, and a latent class model (LCM) was employed to confirm and account for heterogeneity in the preferences of the public for various wetland ecosystem service functions. Compensating surplus welfare measures were also estimated for management scenarios representing changes in the quality and quantity of wetland ecosystem services. The results reveal that: (1) the relative wetland ecosystem valuation results of each wetland attribute are as follows: water conservation > wetland area > biodiversity > natural landscape. The relative contribution degree of each wetland attribute to the environment follows the same pattern. (2) The total WTP is RMB 1.461 billion per year in order to maintain the current wetland ecosystem service functions of the Sanjiang Plain Wetlands, and RMB 9.858 billion per year to improve them. (3) There is considerable preference heterogeneity across the public, which derives significant positive values from sustainable wetland management. We were able to divide respondents into three categories: those who preferred protecting resources, those who preferred protecting the landscape, and those who were price-sensitive. Female respondents and highly educated respondents preferred resource conservation, while respondents with higher incomes and those who had travelled more number of times to the Sanjiang Plain Wetlands preferred landscape protection. However, respondents with lower education and income levels were more sensitive to costs, and preferred to choose alternatives with lower cost. These results can aid in the design of socially optimal policies for sustainable management of wetlands and provide a theoretical basis for the development of environment-related policies.

Key Words: Sanjiang Plain Wetlands; ecosystem services; preference heterogeneity; choice experiment method; random parameter logit model; latent class model

生态系统的功能与效益是地球生命支持系统的重要组成部分,也是社会与环境可持续发展的基本要素[1]。Costanza 等[2]对全球生态系统服务的价值评价在世界上引起了巨大反响,将生态系统服务价值化的研究推向了热潮,促进和加速了生态系统服务的研究进程。人类活动已使我国生态系统遭受空前的冲击与破坏,区域性的生态危机日益突显,严重威胁到社会经济的发展、人类的生存和生态环境的安全,已构成了对国家安全的威胁[3]。建立健全环境资源保护和生态补偿制度是目前急需解决的重要科学问题。

生态环境政策和相关治理决策的科学制定,离不开生态物品的价值评估。对生态系统服务功能的经济评价是实现生态环境可持续发展的基础,也是使环境与生态系统保育引起社会重视的重要措施。作为地球上最具生产力的生态系统和最重要的自然生境之一,湿地与人类的生存、繁衍和发展息息相关,深入研究湿地生态系统服务功能,量化其经济价值,可以促进自然资本开发的合理决策,有利于人类进步。由于湿地生态系统服务功能的多面性,其经济评价具有多价值性,从而导致个人偏好的多样性。因此,把握公众的生态偏好和支付意愿是十分必要的,有助于了解对于湿地保护责任分配的社会观点,改善福利衡量,体现社会公平和生态可持续性,使社会决策机制在各种竞争需求之间进行科学合理的分配。

选择实验(Choice Experiments,CE)是一种重要的非市场资源价值评价技术[4],因其能够进行多属性、多水平决策,适用于虚拟市场中多重属性变动的情况,更容易揭示受访者的偏好信息而成为当前生态环境领域价值研究的主要方法[5-6]。为获取环境物品的价值,CE 以问卷调查为工具构建假想市场,为受访者提供由资源或环境物品的不同属性状态组合而成的选择集,让受访者从每个选择集中选出自己最偏好的一种方案,研究者可以根据受访者的偏好,运用计量经济学模型分析出不同属性的价值以及由不同属性状态组合而成的各种方案的相对价值。

在 CE 的研究中,把握受访者的偏好异质性是实证研究的重要内容[7-10]。自 Train[11]揭示自然资源使用者间存在实质性的偏好变化以来,关于偏好异质性的调查研究已受到越来越多经济价值领域学者的青睐[12-14]。虽然在国际上 CE 已经被越来越广泛的运用到湿地生态系统功能价值评价的研究中[15-18],但国内基于选择实验的湿地生态系统服务功能经济价值的研究案例极为少见[19]。与国外相比,我国基于选择实验的偏好异质性研究起步较晚,研究案例相对欠缺,大多仅关注了偏好异质性的存在性,并没有深入阐明偏好异质

性的形成机理[20-23]。

本文以三江平原湿地为研究对象,针对目前三江平原湿地生态系统完整性受到破坏,生态服务功能日趋降低的现状,应用选择实验法,筛选湿地面积、生物多样性、水源涵养和自然景观等 4 项湿地属性,运用随机参数 Logit 模型(Random Parameter Logit,RPL)定量评估湿地生态保护中不同属性的支付意愿及维持和改善湿地生态系统服务功能的补偿剩余价值,并结合潜在分类模型(Latent Class Model,LCM)探讨受访者对三江平原湿地生态系统服务功能的偏好异质性及其形成机理。研究结论为国家和地方政府制定湿地生态管理制度提供理论依据,为相关环境政策的费用负担及利益分配等具体方案的制定提供技术支持与参考。

1　研究区域概况

三江平原是我国最大的淡水沼泽分布区,位于我国东北角,地理位置介于 129°11′20″—135°05′26″E,43°49′55″—48°27′40″N 之间,由松花江、黑龙江、乌苏里江汇流冲积而成。三江平原原始湿地众多,地势平缓,河流纵横,漫滩广阔,泡沼星罗棋布,湿地景观丰富多彩,具有丰富的生物多样性,素有“北大荒”之称,是中国重要的生态功能区。三江平原有洪河自然保护区、三江自然保护区、兴凯湖国际级自然保护区等 6 个国家级湿地自然保护区,其中 3 个被列入到国际重要湿地名录,是国际湿地生物多样性的关键地区之一,在国际上占据着极高地位。全区土地总面积 10.24 万 km^2,包括 22 个县(市)及其中的 52 个国营农场和 8 个森工局[24]。在维持生物多样性、物种基因库、调节气候、调蓄水量、净化水体、保持水土和提供动物栖息地、休闲旅游等方面具有重要的生态价值和经济价值,对调节区域生态环境起到重要作用。

然而,三江平原自 50 年代垦荒以来,已有 300 万 hm^2湿地变为农田,目前所剩的 200 万 hm^2 自然湿地也面临消失的危险[25]。三江平原耕地开发与湿地保护之间的矛盾冲突已经严重影响了整个生态系统的服务功能,在湿地面积萎缩、耕地面积增加的情况下,湿地与耕地生态系统总服务功能价值处于下降趋势[26]。同时,大量修建的排水干渠忽视了湿地生态用水,加之大面积推广水稻种植,过渡开采地下水,导致三江平原湿地生态系统退化速度加快,涵养水源、保持水土功能下降,水土流失严重,湿地景观破碎化,湿地面积缩小,功能降低,许多生物物种的生境遭到改变和破坏,生物多样性保护能力不断下降,严重威胁生态安全和社会经济可持续发展。因此,保护湿地,恢复湿地,进行湿地生态系统服务功能的调控是一项刻不容缓的工作。

2　研究方法与模型

2.1　选择实验法

选择实验法(CE)是一种重要的非市场资源价值评价技术,其理论基础为经济学的消费者理论和随机效用理论[27-28]。每个评估对象的价值由其多个属性所决定,其中某一属性水平的变化可能导致受访者对其偏好或选择发生变化,受访者每个选择总是以效用最大化为目的。CE 研究者通常为受访者提供一系列能体现研究对象状态的属性集,且每个属性集至少包含一个货币价值属性,不同的状态水平对应不同的费用,通过分析和比较人们的选择可以得到环境物品各功能和属性的经济价值。

根据随机效用理论,个体的选择效用(U)由确定(V)和随机误差项(ε)组成[29],则个体 q 选择方案 i 的效用可表为:

$$U_{iq} = V_{iq}(Z_i, S_q) + \varepsilon_{iq}(Z_i, S_q) \tag{1}$$

式中,Z_i为选择的湿地管理方案 i 的属性,如湿地面积,生物多样性,水源涵养,自然景观以及支付保护价格。S_q为个体 q 的社会经济属性,如性别,年龄,受教育程度等。个体 q 从一个由 j 个选项组成的特定选择集 J 中选择方案 i 的概率为:

$$\begin{aligned} P_{iq} &= P(U_{iq} > U_{jq}; \forall j(\neq i) \in J) \\ &= P(\varepsilon(Z_j, S_q) < \varepsilon(Z_i, S_q) + V(Z_i, S_q) - V(Z_j, S_q); \forall j(\neq i) \in J) \end{aligned} \tag{2}$$

随机效用模型转化为选择模型需要对随机误差项的联合分布进行确定的假设。如果随机误差项遵循第

一种极值分布(EV1),且选择方案和选项独立同分布(IID),就得到多项 logit 模型(Multinomial Logit, MNL)[30]。在 MNL 中,个体 q 选择最佳方案 i 的概率可表为:

$$P_{iq} = \exp(V_{iq}(Z_i, S_q)) / \sum_{j=1}^{J} \exp(V_{iq}(Z_j, S_q)) \tag{3}$$

式中,V_{iq}通常包括选择特定常量(Alternative Specific Constant, ASC)、选择方案 i 的属性 Z_i和个体 q 的社会经济特征 S_q。

2.2 随机参数 logit 模型

MNL 模型中个体之间的异质性极难检查[31]。针对该问题,Revelt 等[32]提出了随机参数 logit 模型(RPL),RPL 通过允许个体效用参数随机变化来捕捉偏好异质性[33-34]。与 MNL 模型相同,RPL 的间接效用被分解为确定项(V)和随机误差项(ε):

$$U_{iq} = V_{iq}(Z_i(\beta + \eta_i), S_q) + \varepsilon_{iq}(Z_i, S_q) \tag{4}$$

由于个体偏好异质性可随着随机分量 η_i 和社会经济属性 S_i变化,间接效用(U)被假定为带有参数β 的选择属性 Z_i的函数。通过指定误差项 ε 和 η 的分布,可导出在选择集 J 中选择方案 i 的概率。通过解释不可观测的异质性,等式(3)变为:

$$P_{iq} = \exp(V(Z_i(\beta + \eta_i), S_q)) / \sum_{j=1}^{J} \exp(V(Z_j(\beta + \eta_j), S_q)) \tag{5}$$

2.3 潜在分类模型

潜在分类模型(LCM)在 CE 分析中应用广泛。相比于 MNL 模型,LCM 是半参数模型,不需要任何个体间参数分布的特定假设[35]。同时,LCM 将样本分为有限个可识别的类,每一类中个体特征相关、偏好同质,而各类间的偏好结构异质[36]。因此,与 RPL 相比,LCM 不仅能估计每一类中个体的选择概率,还可以通过分析社会经济属性变量等样本特征对其选择概率的影响,进一步解释偏好异质性的形成机理[37]。

假定样本由一些潜在的类 S 组成,这些类可以通过估算相应效用函数中的不同参数向量捕捉个体间不可观察的异质性。若个体 q 属于类 s,则(1)式为:

$$U_{iq|s} = V_{iq|s}(Z_{i|s}, S_{q|s}) + \varepsilon_{iq|s}(Z_{i|s}, S_{q|s}) \quad s = 1, 2, \cdots, S \tag{6}$$

类 s 中个体 q 的选择概率可表为:

$$P_{iq|s} = \exp(V_{iq|s}(Z_{i|s}, S_{q|s})) / \sum_{j=1}^{J} \exp(V_{iq|s}(Z_{j|s}, S_{q|s})) \tag{7}$$

考虑个体的分类成员函数 M 能将受访者分到 s 个潜在类别之一,分类成员受个体可观测的社会经济属性 S_q的影响。个体 q 隶属于类 s 的分类成员函数为 $M_{qs} = \lambda_s S_q + \xi_{qs}$。假设分类成员函数的随机误差项遵循第一种极值分布,且在个体和类间独立同分布,个体 q 在类 s 的概率 H_{qs}可表为[38]:

$$H_{qs} = \exp(\alpha\lambda_s S_q) / \sum_{s=1}^{S} \exp(\alpha\lambda_s S_q) \tag{8}$$

式中,α 为尺度因子,通常标准化为 1;$\lambda_s(1, \ 2, \ \cdots \ S)$ 是被估计的分类特定参数,表示各个体特征对其分类成员概率的贡献;S_q为决定分类概率的特征集。结合选择方程(7)和分类方程(8),选择方案 i 的无条件概率可表为:

$$\begin{aligned} P_{iq} &= \sum_{s=1}^{S} P_{iq|s} H_{qs} \\ &= \sum_{s=1}^{S} \left[\exp(V_{iq|s}(Z_{i|s}, S_{q|s})) / \sum_{j=1}^{J} \exp(V_{iq|s}(Z_{j|s}, S_{q|s}))\right] \times \left[\exp(\alpha\lambda_s S_q) / \sum_{s=1}^{S} \exp(\alpha\lambda_s S_q)\right] \end{aligned} \tag{9}$$

在方程(9)中,令 α 等于 1,则可通过极大似然方法估计参数向量 β_s和 l_s,进而解释选择行为。

2.4 WTP 估计

公众对于一个非货币性属性的支付意愿(WTP)为公众愿意为获取所需属性水平而支付的价格溢价。如

果所有属性的效用是一个线性函数,则改善某一环境属性水平的 WTP 为:

$$WTP_r = -\frac{\beta_r}{\beta_p} \tag{10}$$

式中,β_r和β_p分别表示具体环境属性 r 和价格属性 p 的估计参数。

2.5　补偿剩余价值

Hanemann[39]提出了符合需求理论的补偿剩余(CS)测算方法。一旦得到参数向量的估计值β,便可进一步测算出由属性集变化引起的福利水平变化值。从初始状态 V_0变化到新的状态 V_1的补偿剩余价值为:

$$CS = -\frac{1}{\beta_p}\left[\ln(\sum_i \exp V_0) - \ln(\sum_i \exp V_1)\right] \tag{11}$$

3　选择实验设计与调查

3.1　选择实验设计

本研究旨在估计三江平原湿地生态系统服务价值,并探究公众对湿地属性的偏好异质性。在设计选择实验时,最关键的是确定待评价的湿地属性及其水平组合。基于此,课题小组通过查阅文献和咨询专家,确定了能体现三江平原湿地生态系统服务功能的主要湿地属性,并针对三江平原区域公众进行分析与讨论,以确定对公众重要的最终属性、水平及在调查中使用的语言和表达方式。最终确定湿地面积、生物多样性、水源涵养及自然景观等 4 个湿地属性,并设定支付保护价格来确定价格属性值。其中,湿地面积有 2 个水平,生物多样性、水源涵养及自然景观各 3 个水平,支付保护价格有 5 个水平。包含所有可能组合的全集如表 1 所示。

湿地面积是保证湿地生态系统服务功能的基础,三江平原耕地开发与湿地保护之间的矛盾冲突已经严重影响了整个生态系统的服务功能价值,随着农业活动频繁,湿地与农田面积此消彼长[40],研究三江平原湿地面积的经济价值具有重要的现实意义,有关湿地价值研究的相关文献将湿地面积作为一个重要属性[18]。湿地生态系统是湿地生物多样性的载体,对于生物多样性的维护具有重要作用,有关湿地的经济价值评价,生物多样性是不可或缺的重要属性[16,41]。水文是湿地环境中最重要的因子之一,由于湿地的特殊水文作用而形成的涵养水源功能是重要的服务功能,是维持其他生态系统健康发展的前提,也是湿地生态系统有别于森林、草地等其他自然生态系统的特质[42]。除湿地本身带来的生态效益外,湿地生态系统服务功能价值还可能来自于社会、经济因素,湿地自然景观所带来的娱乐文化价值、旅游休闲价值也不容忽视。

表 1　选择实验中的湿地属性及管理水平

Table 1　Wetland management attributes and levels used in the CE

属性 Attributes	管理水平 Management levels	解释 Definition
湿地面积 Wetland area	恶化	放任其恶化,湿地面积减少
	维持	维护现在的湿地面积不变
生物多样性 Biodiversity	恶化	放任其恶化,物种减少
	维持	维护现在的生物多样性不变
	改善	取得良好的管理效果,物种恢复
水源涵养	恶化	放任其恶化,水质污染,水量降低
Water conservation	维持	维护现在的水源涵养不变
	改善	取得良好的管理效果,水质改善,水源丰富
自然景观	恶化	放任其恶化,环境破坏,污染严重
Natural landscape	维持	维护现在的自然景观不变
	改善	取得良好的管理效果,景观优美
支付保护价格 Price	0、50、100、150、200	每户每年支付的费用

将表 1 中不同的属性及其水平进行组合,共得到$(2\times3^3\times5)^2$个不同的选择集。考虑到现实操作的可行

性,本文通过正交实验设计方法和 SAS 软件筛选出拥有不同湿地属性水平选项组合的 15 个选择集。并将其随机分为 5 个版本,每个版本 3 个选择集,每个选择集中包含 2 个湿地管理方案和 1 个现状方案。选择集的示例如表 2 所示。受访者需要对每个选择集的 3 个选项进行选择。方案 A 和 B 代表不同湿地管理水平下预期的环境状况;方案 C 是现状方案,代表没有任何管理措施下的当前环境状态,选择集中包含一个现状方案的设定,符合需求理论,有助于进行福利估计[43]。

表 2 问卷中的选择集

Table 2 Sample choice set

属性 Attributes	方案 A Alternative A	方案 B Alternative B	方案 C Alternative C
湿地面积 Wetland area	维持	维持	
生物多样性 Biodiversity	改善	改善	
水源涵养 Water conservation	维持	恶化	A 和 B 我都不选,对三江平原不进行任何保护
自然景观 Natural landscape	恶化	改善	
支付保护价格 Price	100	150	0

3.2 选择实验数据收集

本文以三江平原湿地为研究对象,应用 CE 问卷数据,评价三江平原湿地生态系统服务价值。根据已有研究基础[44],确定问卷中价格属性以及样本容量。于 2014 年 4 月至 5 月间进行了预调查,发放问卷 60 份。通过充分模拟真实市场,结合预调查的信息反馈,修正不准确的提问及表达方式,进而保证问卷调查效率和可操作性。最终问卷的内容包括 3 个部分:

第 1 部分为受访者对三江平原湿地的认识调查,包括对三江平原的了解程度、关心程度、对环境保护和开发现状的态度等信息。

第 2 部分为选择实验问卷的核心部分,即 3 个选择集的支付意愿调查,选择集的示例如表 2 所示。

第 3 部分为受访者社会经济属性的调查,包括性别、年龄、收入、受教育程度以及到三江平原旅游次数等。

问卷调查以面访方式进行,调查范围涉及三江平原各地区,在问卷的总投放量和各地区投放量的确定上采用了分层抽样原理,综合参考按比例分配与 Neyman 分配原则,于 2014 年 7 月至 8 月在黑龙江省展开正式调研。参与此次调研的问卷调查人员都已经过先期培训,并在访问前为每位受访者清楚地解释问卷中各属性及选项的含义,以保证问卷的有效性。此次调研共发放问卷 500 份(每个版本问卷发放 100 份),共回收问卷 420 份,剔除缺失和极端数据后得到有效问卷 394 份,为选择模型估计提供了 1182(394 × 3)个有效观测值。

3.3 样本特征描述

问卷中除了重要的 CE 问题,收集受访者的社会经济属性数据也是必要的。这对于解释样本的代表性,探讨偏好异质性具有重要意义。样本的描述性统计结果如表 3 所示。

分析受访者社会经济属性变量,女性所占样本比例为 52.28%,高于男性所占比例,但两者差距不大,性别

表 3 受访者社会人口信息统计

Table 3 Social, economic characteristics of the respondents

变量 Variable	描述 Description	定义 Definition	样本比例 Sample average/%
性别 Gender	男	SEX = 0	47.72
	女	SEX = 1	52.28
年龄 Age	18 以下	AGE = 1	7.11
	18—25	AGE = 2	17.77
	26—39	AGE = 3	37.56
	40—59	AGE = 4	28.42
	60 以上	AGE = 5	9.14
受教育程度 Education	小学及以下	EDU = 1	7.61
	初中	EDU = 2	23.86
	高中	EDU = 3	33.50
	大学	EDU = 4	30.46
	研究生及以上	EDU = 5	4.57
个人年收入/元 Income	5 千以下	INC = 1	36.55
	5 千—1 万	INC = 2	12.18
	1 万—3 万	INC = 3	25.89
	3 万—5 万	INC = 4	14.21
	5 万—10 万	INC = 5	7.61
	10 万以上	INC = 6	3.55

分布较为平均。年龄分布也较为合理,25 岁以下、26—59 岁和 60 岁以上所占比例分别为 24.88%、65.98%和 9.14%,与黑龙江省统计年鉴公布的 23.1%、61.9%和 15%较为接近。样本的受教育程度主要集中在高中和大学,比例分别为 33.50%和 30.46%,这反映出样本具有较高的文化素养。

4　结果分析

4.1　随机参数 Logit 模型参数估计

在对属性状态值及受访者个体特征变量进行虚拟赋值的基础上,使用 Nlogit 5.0 软件估计 RPL 模型结果。首先,分析基本模型来展示所选属性如何解释选择集中的不同选择方案。RPL 模型中包含的解释变量有选择特定常数(ASC),湿地面积,生物多样性,水源涵养,自然景观,以及支付保护价格。其中,当选择湿地管理方案 A 和 B 时,ASC 等于 1;选择现状方案 C 时,ASC 等于 0;支付保护价格被指定为非随机的,所有其他属性被指定为正态分布随机参数。模型结果见表 4。

表 4　RPL 模型的参数估计结果

Table 4　RPL model parameter estimation results

变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 s.e.	Z 值 Z-value	变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 s.e.	Z 值 Z-value
ASC	−2.83952 **	1.41093	−2.01	自然景观 Natural landscape	0.63952 ***	0.22875	2.80
湿地面积 Wetland area	0.89049 ***	0.33025	2.70	支付保护价格 Price	−0.01077 ***	0.00313	−3.44
生物多样性 Biodiversity	0.44291 *	0.23217	1.91	Log likelyhood	−525.99515		
水源涵养 Water conservation	1.27701 ***	0.37064	3.45	Pseudo-R^2		0.1857459	

* 为在 10%水平下显著, ** 为在 5%水平下显著, *** 为在 1%水平下显著; ASC:选择特定常数 Alternative specific constant

RPL 模型表明,所有湿地属性均通过显著性检验,且符号都与先验预期相一致。问卷中所有的湿地属性都是一个湿地生态系统管理方案被选择的重要因素,在其他条件不变的情况下,任何单一属性的增加都会导致一个管理方案被选中的概率增大。且湿地面积、水源涵养、自然景观以及生物多样性等 4 项湿地属性对效用的影响均为正,意味着受访者对生态系统服务功能的改善均显示积极态度。支付保护价格系数显著为负,表明选择一组具有较高的支付保护价格的选择集的效用为负,即支付保护价格的增加会降低一个管理方案被选中的概率。

4.2　潜在分类模型参数估计

将湿地面积、生物多样性、水源涵养和自然景观等 4 项湿地属性作为效用函数参数,将受访者的社会经济属性作为分类成员函数参数,使用 Latent GOLD Choice 5.0 软件对受访者进行分类研究。LCM 分析的首要步骤是确定分类数量,本文通过比较 AIC、BIC 及 AIC3 检验量来确定模型分类数。LCM 的分类结果如表 5 所示。

表 5　LCM 模型分类表

Table 5　LCM model classification table

分类数 Number	Npar	Log Lik	AIC(LL)	BIC(LL)	AIC3(LL)
1	5	−582.28	1174.57	1190.98	1179.57
2	16	−488.02	1008.05	1060.57	1024.05
3	27	−463.61	981.22	1069.95	1008.22
4	38	−450.23	976.45	1101.21	1013.29
5	38	−433.93	965.85	1126.73	1014.70

AIC:赤池信息量准则 Akaike information criterion, BIC:贝叶斯信息量准则 Bayesian information criterion, AIC3:AIC with a penalty factor of 3

对数似然比收敛表明:分类数越多模型的拟合就越好。这是因为对数似然比通常随着待估计参数的增加而增加。表中 AIC 检验值随着分类数的增加而逐渐减小,在分类数为 3 时减小趋势趋于平缓;BIC 检验值在

分类数为 2 时最小,而在分类数为 3 时稍有增加,随后逐渐加大;AIC3 检验值则在分类数为 3 时最小。综上,本文将受访者分为 3 个潜在的类别。

三类潜在分类模型中参数的相对重要性如表 6 所示。在第一类中,水源涵养是最重要的属性,其他属性的相对重要性都相差无几。在第二类中,自然景观的相对重要性远大于其他属性。而在第三类中,保护价格是最重要的属性,其他湿地保护属性则相对较低。根据以上参数的相对重要性,将对各种湿地资源属性均为重视的第一个潜在类别称为资源偏好型;将对自然景观最为重视的第二个潜在类别称为景观偏好型;将对支付保护价格最为关注的第三个潜在类别称为价格敏感型。

表 6　参数的相对重要性

Table 6　The relative importance of attributes

属性 Attributes	Class 1	Class 2	Class 3	属性 Attributes	Class 1	Class 2	Class 3
湿地面积 Wetland area	16.16	0.07	11.38	生物多样性 Biodiversity	17.70	11.62	3.99
水源涵养 Water conservation	37.72	5.66	15.63	自然景观 Natural landscape	16.68	68.72	5.13
支付保护价格 Price	11.74	13.93	63.87				

模型的参数估计结果列于表 7。第一部分显示了湿地属性的效用系数,第二部分为分类成员系数。受访者在面临三江平原湿地生态系统保护问题时,对其各属性的偏好存在极强的异质性,依据模型结果中各湿地属性效用值的大小,本文将受访者分为 3 个不同的潜在类别,各类别所占比例分别为:68.88%、15.70% 和 15.42%。

表 7　LCM 模型的参数估计结果

Table 7　LCM model parameter estimation results

变量 Variable	Class 1 资源偏好型 Resources preferable			Class 2 景观偏好型 Landscape preferable			Class 3 价格敏感型 Price-sensitive		
	系数 Coefficient	标准误 s.e.	z 值 z-value	系数 Coefficient	标准误 s.e.	z 值 z-value	系数 Coefficient	标准误 s.e.	z 值 z-value
比例 Proportion		68.88%			15.70%			15.42%	
效用函数:湿地属性 Utility function: wetland attributes									
湿地面积 Wetland area	1.4435***	0.1937	7.4540	0.0143	0.7241	0.0198	0.9571*	0.6808	1.8057
生物多样性 Biodiversity	0.7901***	0.1392	5.6780	1.1579*	0.6879	1.6831	−0.1677	0.4319	−0.3883
水源涵养 Water conservation	1.6839***	0.2085	8.0745	−0.5641	0.9006	−0.6568	−0.6568*	0.5006	−1.6721
自然景观 Natural landscape	0.7445***	0.1647	4.5197	6.8436**	2.8883	2.3711	0.2154	0.4241	0.5079
支付保护价格 Price	−0.0052***	0.0017	−3.1680	−0.0695*	0.0086	1.7054	−0.0268***	0.0071	−3.7783
分类成员函数:受访者的社会经济属性 Class membership function: respondents' socio-economic characteristics									
Intercept	0.3132	0.8210	0.3815	−1.9658	1.1818	−1.6634	1.6526	1.0333	1.5994
性别 Gender	0.4423*	0.2572	1.7195	0.0212	0.3584	0.0591	−0.4634	0.3382	−1.3705
年龄 Age	−0.1321	0.1348	−0.9800	0.0013	0.1935	0.0065	0.1309	0.1647	0.7945
教育 Education	0.2581**	0.1298	1.9886	0.1612	0.1791	0.9002	−0.4192**	0.1669	−2.5117
收入 Income	−0.0550	0.0922	−0.5968	0.3148***	0.1199	2.6261	−0.2597**	0.1253	−2.0734
旅游次数 Times	−0.0633	0.1125	−0.5626	0.1569*	0.1424	1.7019	−0.0936	0.1507	−0.6239

* 为在 10%水平下显著, ** 为在 5%水平下显著, *** 为在 1%水平下显著

第一个潜在类别为资源偏好型,在该类群体中,所有 4 个湿地属性的效用系数均为显著,分类成员系数显示性别和受教育水平对受访者属于第一类的概率有显著影响。女性受访者更注重湿地的资源属性,且较高的受教育水平也促使受访者更偏好对湿地面积、生物多样性、水源涵养等资源进行保护管理。第二个潜在类别为景观偏好型,对于该类群体,湿地面积和水源涵养的效用系数不显著,即对于他们的选择几乎没有影响;收入和旅游次数的分类成员系数显著为正,表明收入水平和旅游次数的提高增加了受访者属于第二类的概率。

此类中高收入和旅游多次的受访者比例明显高于其他两类,表明收入水平高和旅游次数多的受访者更偏好于湿地自然景观的保护。第三个潜在类别为价格敏感型,对于该类群体,生物多样性和自然景观的效用系数不显著,而支付价格的效用系数显著为负,表明减少支付价格能增加该类受访者选择高水平的湿地保护方案的可能性,该类受访者在做出支付时首先考虑的是价格;同时,分类成员系数显示受教育水平和收入水平与受访者属于第三类的概率成显著负相关,即受访者教育和收入水平越低,其属于第三类的概率越大。

4.3　属性价值核算

由表 8 的边际 WTP 可以看出,公众对湿地各项管理属性的重视程度从高到低依次是水源涵养,湿地面积,生物多样性和自然景观,该结果与张翼然[42]在中国内陆湿地生态系统服务功能价值评估中得出的平均价值量排序相符。RPL 模型中,公众对改善湿地水源涵养的平均支付意愿为 118.57 元/a,增加湿地面积的平均支付意愿为 82.68 元/a,而对改善生物多样性及自然景观的平均支付意愿相对较少,分别为 41.12 元/a 和 59.38元/a。水源涵养之所以成为公众关注的重点,其原因可能是三江平原是我国著名的“北大仓”,水稻种植广泛,稻田的水质直接影响粮食的产量与质量。而湿地面积之所以得到公众更多的重视,其原因可能与人们对湿地保护的直观印象、感受有关。

表 8　湿地属性的边际 WTP

Table 8　The marginal WTP of wetland attributes

属性 Attributes	随机参数 logit 模型 Random parameter logit model	潜在分类模型 Latent class model		
		Class 1 资源偏好型 Resources preferable	Class 2 景观偏好型 Landscape preferable	Class 3 价格敏感型 Price-sensitive
湿地面积 Wetland area	82.68	275.44	0.206	35.65
生物多样性 Biodiversity	41.12	150.77	16.69	-6.25
水源涵养 Water conservation	118.57	321.32	-8.13	-24.46
自然景观 Natural landscape	59.38	142.06	98.69	8.02

根据 RPL 模型和 LCM 模型的参数与方程(11)得出针对不同恢复方案的补偿剩余价值,估计结果如表 9 所示。

表 9　补偿剩余价值

Table 9　Compensating surplus for each scenario

情景 Scenarios	随机参数模型 Random parameter logit model	潜在分类模型 Latent class model		
		Class 1 资源偏好型	Class 2 景观偏好型	Class 3 价格敏感型
维持 Maintain	38.11	259.38	78.93	74.65
改善 Improve	257.18	878.35	185.95	51.92

补偿剩余价值随着湿地生态系统服务功能的改善而增加,这与 Birol 等[16]的研究结论相一致。在 RPL 模型中受访者对维持当前的湿地生态系统服务功能的平均支付意愿为 38.11 元/a,而对改善湿地生态系统服务功能的平均支付意愿为 257.18 元/a。根据《2015 年黑龙江省统计年鉴》,2014 年末黑龙江省常住总人口数为 3833.0 万,将平均支付意愿与地区人口数相乘,即得到维持湿地生态系统服务功能的总平均支付意愿为 14.61 亿元/a,改善湿地生态系统服务功能的总平均支付意愿为 98.58 亿元/a。

5　结论与讨论

5.1　结论

本文应用选择实验法对三江平原湿地生态系统服务功能的边际效益进行经济评价,结合 RPL 模型和 LCM 模型分析公众对湿地生态系统服务功能的偏好异质性,并阐释其形成机理。主要结论如下:

(1)公众对湿地面积、生物多样性、水源涵养和自然景观等 4 项湿地属性的支付意愿均为正,其中,水源

涵养的边际支付意愿最大,湿地面积次之,而生物多样性和自然景观相对较低。补偿剩余价值随着湿地生态系统服务功能的改善而增加,说明保护三江平原的生态环境不仅能促进生态系统的可持续发展,也将创造巨大的经济效益。三江平原作为我国最大的淡水沼泽集中分布区,在涵养水源、物种保护等生态效益方面价值巨大,远大于休闲旅游等带来的直接经济效益。近年来,三江平原耕地的开发对湿地的完整性造成极大的破坏,这影响了湿地生态系统的服务功能价值。因此,在未来的政策制定实施和管理过程中,应当加大湿地的保护和恢复力度,杜绝对湿地的过度开发,恢复湿地面积;同时应重点开展湿地水质和生物多样性的修复工作。

(2)通过潜在分类模型分析发现受访者可分为资源偏好型、景观偏好型和价格敏感型 3 个潜在类别,不同类型的群体对湿地生态系统服务功能存在不同偏好,从而揭示了偏好异质性的由来。结果表明,公众的社会经济属性对其偏好具有显著影响。女性和受教育水平高的受访者会更偏好于资源保护,而高收入和到三江平原湿地景区旅游次数多的受访者会更偏好于景观保护。同时,教育和收入水平越低的受访者对其支付保护价格也具有较为敏感的反应,更倾向于选择支付保护价格较低的湿地管理方案。随着收入水平的提高以及国民素质的增强,越来越多的人愿意为湿地生态环境的保护支付更高的价格。加强湿地环保理念的教育,加大湿地生态文明建设的宣传力度也将增强公众的生态意识,对其支付意愿起到积极的引导作用。

5.2 讨论

(1)虽然相比于条件价值法(Contingent Valuation Method,CVM),CE 能够更加科学、准确地评估受访者的支付意愿以及对不同湿地属性的偏好,但与 CVM 一样,由于评估行为是基于假想市场行为,故而问卷提供的信息、问题提出的顺序以及受访者对问题的理解程度等都会影响评估结果。因此,相比以往研究[45-47],本文的研究目的不是估算出精确的 WTP 值,而是在于能够通过测算不同湿地属性的边际价值来判别各属性的重要程度,探究不同群体对湿地生态系统服务功能的偏好,同时进一步解释这种偏好异质性的形成机理。

(2)由于 CE 在问卷设计方面更为复杂[48],本文只针对受访者的社会经济属性进行了探讨,有关心理感知因素和地理环境因素对受访者支付意愿的影响,以及问卷信息和认知对受访者选择的影响是今后研究中需进一步验证和讨论的问题。

(3)湿地生态系统服务功能评估方法在不断发展[49],但目前湿地系统已知的各项服务功能中,能被准确规范计量的只占少数。随着湿地生态系统服务功能的更细划分,以及湿地类型的不同,需要更具标准化的评价方法。基于选择实验法的生态系统服务功能价值评价,能够把握公众的生态偏好,有助于了解对于生态保护责任分配的社会观点,针对不同湿地管理目标,确定其重要性及保护的优先性,进而综合信息、进行调控,提供社会决策并最终服务于人类。

致谢:感谢黑龙江省林业厅及洪河国家级自然保护区管理局、三江国家级自然保护区管理局、兴凯湖国家级自然保护区管理局在实地调研中提供的支持与帮助。

参考文献(References):

[1] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.

[2] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253-260.

[3] 李文华. 中国当代生态学研究. 北京: 科学出版社, 2013.

[4] Kataria M, Bateman I, Christensen T, Dubgaard A, Hasler B, Hime S, Ladenburg J, Levin G, Martinsen L, Nissen C. Scenario realism and welfare estimates in choice experiments—a non-market valuation study on the European water framework directive. Journal of Environmental Management, 2012, 94(1): 25-33.

[5] Kosenius A K, Markku O. Ecosystem benefits from coastal habitats—a three-country choice experiment. Marine Policy, 2015, 58: 15-27.

[6] Ndunda E N, Mungatana E D. Evaluating the welfare effects of improved wastewater treatment using a discrete choice experiment. Journal of Environmental Management, 2013, 123: 49-57.

[7] Provencher B, Bishop R C. Does accounting for preference heterogeneity improve the forecasting of a random utility model? A case study. Journal of

Environmental Economics and Management, 2004, 48(1): 793-810.

[8] Bliem M, Getzner M, Rodiga-Laßnig P. Temporal stability of individual preferences for river restoration in Austria using a choice experiment. Journal of Environmental Management, 2012, 103: 65-73.

[9] Price J I, Janmaat J, Sugden F, Bharati L. Water storage systems and preference heterogeneity in water-scarce environments: a choice experiment in Nepal's Koshi River Basin. Water Resources and Economics, 2015, 13: 6-18.

[10] Brennan N, Van Rensburg T M. Wind farm externalities and public preferences for community consultation in Ireland: a discrete choice experiments approach. Energy Policy, 2016, 94: 355-365.

[11] Train K E. Recreation demand models with taste differences over people. Land Economics, 1998, 74(2): 230-239.

[12] Boxall P C, Adamowicz W L. Understanding heterogeneous preferences in random utility models: a latent class approach. Environmental and Resource Economics, 2002, 23(4): 421-446.

[13] Garrod G, Ruto E, Willis K, Powe N. Heterogeneity of preferences for the benefits of environmental stewardship: a latent-class approach. Ecological Economics, 2012, 76(1): 104-111.

[14] Bestard A B. Substitution patterns across alternatives as a source of preference heterogeneity in recreation demand models. Journal of Environmental Management, 2014, 144: 212-217.

[15] Carlsson F, Frykblom P, Liljenstolpe C. Valuing wetland attributes: an application of choice experiments. Ecological Economics, 2003, 47(1): 95-103.

[16] Birol E, Karousakis K, Koundouri P. Using a choice experiment to account for preference heterogeneity in wetland attributes: the case of Cheimaditida wetland in Greece. Ecological Economics, 2006, 60(1): 145-156.

[17] Newell L W, Swallow S K. Real-payment choice experiments: valuing forested wetlands and spatial attributes within a landscape context. Ecological Economics, 2013, 92: 37-47.

[18] Dias V, Belcher K. Value and provision of ecosystem services from prairie wetlands: a choice experiment approach. Ecosystem Services, 2015, 15: 35-44.

[19] 李京梅, 陈琦, 姚海燕. 基于选择实验法的胶州湾湿地围垦生态效益损失评估. 资源科学, 2015, 37(1): 68-75.

[20] 王喜刚, 王尔大. 基于选择实验法的环境资源属性价值评价及实证研究. 技术经济, 2014, 33(12): 80-86.

[21] 马爱慧, 张安录. 选择实验法视角的耕地生态补偿意愿实证研究——基于湖北武汉市问卷调查. 资源科学, 2013, 35(10): 2061-2066.

[22] 王尔大, 李莉, 韦健华. 基于选择实验法的国家森林公园资源和管理属性经济价值评价. 资源科学, 2015, 37(1): 193-200.

[23] 龚亚珍, 韩炜, Bennett M, 仇焕广. 基于选择实验法的湿地保护区生态补偿政策研究. 自然资源学报, 2016, 31(2): 241-251.

[24] 李艳芳. 近年来三江平原生态环境变化研究. 环境科学与管理, 2013, 38(2): 42-45.

[25] 徐明华, 冯树丹, 孟祥楠, 倪红伟. 三江平原湿地生态服务功能重要性. 国土与自然资源研究, 2012, (1): 59-60.

[26] 李云成, 刘昌明, 于静洁. 三江平原湿地保护与耕地开垦冲突权衡. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 39-42.

[27] Lancaster K J. A new approach to consumer theory. Journal of Political Economy, 1966, 74(2): 132-157.

[28] Marschak J. Binary-choice constraints and random utility indicators//Arrow K J, Karlin S, Suppes P, eds. Mathematical Methods in the Social Sciences. Stanford: Stanford University Press, 1960: 312-329.

[29] Manski C F. The structure of random utility models. Theory and Decision, 1977, 8(3): 229-254.

[30] McFadden D, Train K. Mixed MNL models for discrete response. Journal of Applied Econometrics, 2000, 15(5): 447-470.

[31] Smith V K. Arbitrary values, good causes, and premature verdicts. Journal of Environmental Economics and Management, 1992, 22(1): 71-89.

[32] Revelt D, Train K. Mixed logit with repeated choices: households' choices of appliance efficiency level. The Review of Economics and Statistics, 1998, 80(4): 647-657.

[33] Bhat C R, Gossen R. A mixed multinomial logit model analysis of weekend recreational episode type choice. Transportation Research Part B: Methodological, 2004, 38(9): 767-787.

[34] Hess S, Bierlaire M, Polak J W. Estimation of value-of-time using mixed logit models. General Information, 2004, 39: 221-236.

[35] Greene W H, Hensher D A. A latent class model for discrete choice analysis: contrasts with mixed logit. Transportation Research Part B: Methodological, 2003, 37(8): 681-698.

[36] Bhat C R. An endogenous segmentation mode choice model with an application to intercity travel. Transportation Science, 1997, 31(1): 34-48.

[37] Tabi A, Saz-Salazar S D. Environmental damage evaluation in a willingness-to-accept scenario: a latent-class approach based on familiarity. Ecological Economics, 2015, 116: 280-288.

[38] Swait J. A structural equation model of latent segmentation and product choice for cross-sectional revealed preference choice data. Journal of Retailing and Consumer Services, 1994, 1(2): 77-89.

[39] Hanemann W M. Discrete/continuous models of consumer demand. Econometrica, 1984, 52(3): 541-561.

[40] Liu X H, Lu X G, Ming J, Zhang C L, Wang L G. Evaluation of greenhouse gas emissions from wetland and agriculture ecosystems in Sanjiang Plain. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2010, 17(6): 462-467.
[41] Do T N, Bennett J. Estimating wetland biodiversity values: a choice modelling application in Vietnam's Mekong River Delta. Environment and Development Economics, 2009, 14(2): 163-186.
[42] 张翼然, 周德民, 刘苗. 中国内陆湿地生态系统服务价值评估——以 71 个湿地案例点为数据源. 生态学报, 2015, 35(13): 4279-4286.
[43] Louviere J J, Hensher D A, Swait J D. Stated Choice Methods: Analysis and Application. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
[44] 敖长林, 周领, 焦扬, 王世雪. 初始投标值数量和样本容量对双边界二分式 CVM 的影响. 生态学报, 2016, 36(3): 854-862.
[45] 敖长林, 陈瑾婷, 焦扬, 王静. 生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例. 生态学报, 2013, 33(16): 5109-5117.
[46] 敖长林, 王静, 高琴, 陈红光. CVM 数据分析中的半参数模型及实证研究. 系统工程理论与实践, 2014, 34(9): 2332-2338.
[47] 高琴, 敖长林, 陈红光, 佟锐. 基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例. 生态学报, 2014, 34(7): 1851-1859.
[48] Hoyos D. The state of the art of environmental valuation with discrete choice experiments. Ecological Economics, 2010, 69(8): 1595-1603.
[49] 崔丽娟, 庞丙亮, 李伟, 马牧源, 孙宝娣, 张亚琼. 扎龙湿地生态系统服务价值评价. 生态学报, 2016, 36(3): 828-836.